

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS FLORESTAIS E DA MADEIRA

MICHEL DA MATA BORGHI

EFEITO DA GRANULOMETRIA NA AVALIAÇÃO DOS BRIQUETES

JERÔNIMO MONTEIRO
ESPÍRITO SANTO

2012

MICHEL DA MATA BORGHI

EFEITO DA GRANULOMETRIA NA AVALIAÇÃO DOS BRIQUETES

Monografia apresentada ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Industrial Madeireiro.

JERÔNIMO MONTEIRO
ESPÍRITO SANTO

2012

MICHEL DA MATA BORGHI

EFEITO DA GRANULOMETRIA NA AVALIAÇÃO DOS BRIQUETES

Monografia apresentada ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Industrial Madeireiro.

Aprovada em 30 de outubro de 2012

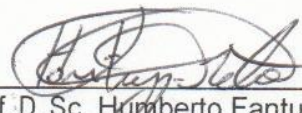
COMISSÃO EXAMINADORA



Prof.^a. D. Sc. Marina Donária Chaves Arantes
Departamento de Ciências Florestais e da Madeira
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientadora



Prof.^a. D. Sc. Graziela Baptista Vidaurre
Departamento de Ciências Florestais e da Madeira
Universidade Federal do Espírito Santo
Examinadora



Prof. D. Sc. Humberto Fantuzzi Neto
Departamento de Ciências Florestais e da Madeira
Universidade Federal do Espírito Santo
Examinador

À Deus, por sempre me dar força.

À minha família meus pais Gualter e Paula e minha irmã Mirla sem eles nada seria realizado por mim.

Aos meus avós, pelo amor incondicional.

À minha namorada, Lorena, pela presença em minha vida.

“O verdadeiro poder do gênio é a força de vontade para fazer todos os erros necessários para chegar à resposta!”

Albert Einstein

AGRADECIMENTO

À Deus, que nunca permitiu que eu desistisse, me dando força e sabedoria e sendo meu companheiro de todos os dias.

Aos meus pais, pelo imenso amor acima de tudo, pelo apoio nessa minha caminhada, por tudo que fizeram para que eu pudesse realizar o meu sonho, algumas vezes abrindo mão dos próprios sonhos e por acreditarem em mim quando às vezes nem eu acreditava.

À minha família, avós, tios e primos, que mesmo distantes me apoiaram, acompanharam e torceram pela minha vitória.

À minha namorada por caminhar sempre comigo, por me ajudar e me ensinar sempre que necessário, por cuidar de mim quando mais precisei e por me ouvir pacientemente nos ensaios da apresentação deste trabalho.

Aos amigos que foram grandes companheiros nesta jornada e me ajudaram com conselhos, em especial ao Jordão, Leandro, Ramiro, Raul e Walter.

À Universidade Federal do Espírito Santo e juntamente os funcionários, Zé Geraldo e Gilson, do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira pelos ensinamentos em grande parte prática deste trabalho.

À professora Marina pela orientação, atenção, paciência, auxílio e por ter aceitado a idéia de desenvolvimento deste trabalho.

Ao senhor Peter Rogers, gerente da empresa Bahia Produtos de Madeira, por ter cedido o material e informações da produção de alguns resíduos da serraria,

A todas as pessoas que estiveram direta ou indiretamente ligadas a esta minha conquista, o meu muito obrigado.

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade dos briquetes produzidos a partir da biomassa e do cavaco de madeira, tais resíduos gerados em uma serraria de grande porte localizada no sul do Estado Bahia na cidade de Posto da Mata. Os briquetes foram produzidos em briquetadeira laboratorial utilizando temperatura de 120 °C, tempo de prensagem de cinco minutos a uma pressão de 100 Kgf.cm⁻² e tempo de resfriamento de sete minutos. Além da umidade e densidade a granel, foram determinados por meio da análise química imediata os teores de cinzas, extrativos totais, lignina insolúvel, lignina solúvel e holocelulose dos resíduos de biomassa e cavaco da madeira. Densidade relativa aparente, resistência mecânica e absorção de água determinaram a qualidade do briquete. O maior valor para densidade a granel foi para o resíduo de cavaco de madeira com 225 kg.m⁻³. Os valores das umidades foram muito próximos para o resíduo de biomassa e cavaco com 11% e 12% respectivamente. O teor de cinzas para o resíduo de biomassa foi de 2,6%. Os valores dos extrativos foram muito próximos para o resíduo de biomassa e cavaco da madeira com 5% e 4% respectivamente. Para a lignina o valor obtido foi de 33% para o resíduo de biomassa e cavaco da madeira. Os valores de holocelulose foram próximos para o resíduo de biomassa e cavaco da madeira com 62% e 63% respectivamente. Na análise elementar todos os valores se aproximaram. O briquete produzido com serragem classificada na peneira de 40/60 Mesh obteve o maior valor de resistência à compressão paralela com 67,4 kgf.cm⁻², o menor valor para resistência à compressão paralela foi para o briquete produzido com cavaco classificado e retido na peneira de granulometria 40 Mesh com 39,2 kgf.cm⁻². O maior valor para densidade relativa aparente foi do briquete produzido com serragem classificada e retido na peneira de granulometria 40 Mesh com 1,192 g.cm⁻³ e a menor densidade relativa aparente foi para o briquete produzido com cavaco classificado e retido na peneira de granulometria 40 Mesh com 1,078 g.cm⁻³. O teste de absorção de água não obteve resultado, pois os briquetes se desintegraram, inviabilizando a determinação da massa dos briquetes.

Palavras chave: Briquetagem; Serragem; Cavaco.

Sumário

LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABELAS	ix
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 O problema e sua importância	2
1.2 Objetivos	2
1.2.1 Objetivo geral.....	2
1.2.2 Objetivos específicos	2
2 REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 Quantificação e caracterização dos resíduos madeireiros	3
2.2 Qualidade dos resíduos de madeira	4
2.2.1 Umidade dos resíduos e influência no processo de briquetagem.....	4
2.2.2 Importância da granulometria dos resíduos na briquetagem	6
2.2.3 Resistência dos briquetes.....	7
2.2.4 Densidade dos resíduos de madeira	8
2.2.5 Composição química da madeira.....	9
2.2.6 Teor de cinzas dos resíduos de madeira	11
2.2.7 Usos dos resíduos de madeira	13
2.3 Briquetagem de resíduos madeireiros	14
3 METODOLOGIA.....	18
3.1 Avaliações do material	19
3.2 Processo de briquetagem dos resíduos da madeira	20
3.3 Avaliação da resistência à compressão, densidade relativa aparente e absorção de água dos briquetes.....	21
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	23
4.1 Quantificação dos resíduos.....	23
4.2 Classificação dos resíduos	23

4.3 Avaliação dos briquetes de resíduos	28
5 CONCLUSÕES	30
6 REFERÊNCIAS	31

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Briquetadeira laboratorial de marca Lippel.....	20
Figura 2 – Determinação da densidade relativa aparente do briquete, (A) (B) medição das dimensões do briquete e (C) massa do briquete.....	21
Figura 3 – Ensaio de compressão axial do briquete.....	22

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição média dos constituintes macromoleculares na madeira.....	10
Tabela 2 – Análise química imediata dos resíduos de <i>Eucalyptus</i> spp.....	12
Tabela 3 – Volume de resíduos gerados na indústria.....	23
Tabela 4 – Valores médios de densidade a granel (DA), umidade (U), teor de cinzas (TCz), extrativos totais, lignina total e holocelulose dos resíduos da madeira.....	23
Tabela 5 – Quantidade de briquetes produzidos por mês.....	26
Tabela 6 – Valores médio de nitrogênio (N), carbono (C), hidrogênio (H), enxofre (S) e relação carbono nitrogênio (C/N) e carbono hidrogênio (C/H) dos resíduos de serragem e cavaco da serraria....	26
Tabela 7 – Valores de Resistência à compressão (Kgf.cm ⁻²) e Densidade relativa aparente dos briquetes (g.cm ⁻³).....	28

1 INTRODUÇÃO

O aproveitamento dos resíduos gerados pelo descarte inadequado e pela usinagem da madeira em serrarias, indústrias moveleiras e construções civis vem se tornando uma necessidade aos empresários, pois ocupam grande parte dos seus pátios. Em uma empresa de grande produção e de pouca comercialização desses resíduos a tendência é cada vez mais aumentar a estocagem dos seus rejeitos lignocelulósicos, requerendo em alguns casos uma cobertura para evitar o escoamento ou a umidade em caso de chuva. A reciclagem além de reduzir o acúmulo de resíduos nos pátios das indústrias pode torna-los em uma matriz energética de auto potencial e de grande retorno financeiro.

Por vários anos, a indústria madeireira considerou os resíduos como subprodutos problemáticos do processamento de madeira e com o intuito de desfazer-se deles, incinerando em queimadores, apenas com a finalidade de desocupar os pátios sem realizar aproveitamento energético. Entretanto, essas soluções têm se convertido em sérios problemas ambientais. Além disso, a questão dos crescentes aumentos nos custos dos insumos energéticos se tornou assunto relevante nas indústrias visando às vantagens do aproveitamento dos resíduos como fonte alternativa de combustível ou de utilizá-los como matéria-prima para outros produtos, quais sejam a produção de celulose ou de chapas de composição (FONTES, 1994).

De acordo com o mesmo autor, a quantidade real de resíduos obtida com a fabricação de produtos de madeira é distinta de uma instalação industrial para outra e depende de vários fatores, como propriedades da madeira, tipo e sistema de produção adotado pela indústria e o produto final acabado.

Visando reduzir o descarte de resíduos surgiu a idéia de produzir briquetes, agregando valor ao que seria descartado. Neste contexto, Antunes (1982) destacou a briquetagem como um processo no qual pequenas partículas de material sólido são prensadas para formar blocos de forma definida e de maior tamanho. Por meio desse processo, subprodutos de beneficiamento agroflorestal e finos de carvão convertem-se em um material de maior valor comercial.

No Brasil, o interesse pela briquetagem sempre esteve voltado para o aproveitamento dos finos de carvão vegetal oriundos da siderurgia, levando a maioria das pesquisas para o desenvolvimento de briquetes para usos nessa atividade (QUIRINO, 1991). Por outro lado não existe uma tradição industrial na produção de briquetes de materiais ligno-celulósicos (PAULA et al., 2010).

1.1 O problema e sua importância

A geração de resíduos é um problema constante nas indústrias madeireiras, onde estoques de resíduos com grande ocupação de área são criados. A briquetagem proporciona a redução do volume desses resíduos estacionados no pátio da serraria por meio da densificação dos resíduos sendo uma forma rentável de reutilização dos resíduos como fonte de energia.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

Qualificar os resíduos da biomassa constituída de pó de serra, casca triturada, finos da peneira na classificação do cavaco e pó seco e cavacos gerados por uma serraria de grande porte e avaliar os briquetes provenientes destes resíduos.

1.2.2 Objetivos específicos

- Realizar o levantamento da quantidade da biomassa (pó de serra + casca triturada + finos da peneira na classificação do cavaco + pó seco) e cavaco gerados por mês em uma serraria de grande porte;
- Obter a umidade, densidade a granel, teor de cinzas, extrativos e lignina dos resíduos da biomassa (pó de serra + casca triturada + finos da peneira na classificação do cavaco + pó seco) e cavacos gerados por uma serraria de grande porte;
- Avaliar a resistência mecânica, densidade relativa aparente e absorção de água dos briquetes produzidos com duas diferentes granulometrias.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Quantificação e caracterização dos resíduos madeireiros

Nos Estados Unidos da América, nos últimos 20 anos, a caracterização de resíduos sólidos vem sendo uma componente dos estudos de quantificação de fluxos de resíduos. Em Portugal, o Documento Técnico n.º1 elaborado pela DGQA em 1989, relativo a este processo, incluía a quantificação dos resíduos e não apenas o conhecimento da sua composição física (A GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS, 2012).

Segundo Quirino (2002) resíduo é a sobra de um processo de produção ou exploração, de transformação ou de utilização. É, também, toda substância, material, e produto destinado por seu proprietário ao abandono.

A geração de resíduos é consequência direta da transformação da madeira maciça ou painéis de madeira reconstituída (ALVES JÚNIOR et al., 2004). E esta transformação é devido ao crescimento desordenado da população mundial, gerando um elevado crescimento produtivo e, por consequência na produção de resíduos (KOSAK, 2008).

Os resíduos e produtos da madeira são classificados como lignocelulósicos, ou seja, contêm majoritariamente lignina e celulose. Como exemplos, podem citar todos os rejeitos ou produtos oriundos da madeira ou das indústrias madeireiras, até mesmo móveis velhos, restos de madeiras de demolições, resíduos de culturas agrícolas ou de beneficiamento de produtos agrícolas, postes, estacas, dormentes, paletes e embalagens em fim de vida (QUIRINO, 2012).

Segundo o mesmo autor, nas serrarias, os resíduos da madeira são gerados no processamento primário como o desdobro, usinagem e no processamento final como dimensionamento parcial e acabamento. Este tipo de produção gera uma quantidade de resíduos, os quais, não poderão ser eliminados por incineração, descartado ou estocado subterraneamente desde que sua reciclagem ou valorização possa ser realizada a um custo economicamente aceitável.

Segundo o Instituto Brasileiro de Qualidade da Produção (2002) e Lima e Silva (2005) todo processo de transformação da madeira gera resíduos, em menor ou maior quantidade, sendo que somente 40 a 60% do volume total de uma tora são

aproveitados. Estes resíduos industriais podem ser classificados em três tipos: i) lenha, que engloba os resíduos maiores como aparas, refilos, casca, roletes e também pode ser encontrada em todas as indústrias de madeira; ii) cepilho ou maravalha, com mais de 2,5 mm de comprimento, um resíduo encontrado geralmente em indústrias que beneficiam madeira, gerado pelo processamento em plainas como por exemplo, na indústria de móveis; iii) serragem, com dimensões entre 0,5 e 2,5 mm, um resíduo encontrado na maioria das indústrias de madeira e é gerado principalmente pelo processo de usinagem com serras; iv) pó, resíduos menores que 0,5 mm.

Segundo Brito (1995) a lenha é o tipo de resíduo de maior representatividade, correspondendo a 71% da totalidade dos resíduos, seguido pela serragem que corresponde a 22% e, finalmente, os cepilhos, correspondendo a 7%.

De modo geral, os resíduos gerados em uma cadeia produtiva de madeira serrada constituem-se de 7% de casca, 10% de serragem e 28% partículas, isto sem considerar as perdas na extração da madeira (REMADE, 2005). Assim, a reciclagem bem como a recuperação de matéria prima e energia agregada ao resíduo pode trazer benefícios ambientais e econômicos (SCHNEIDER, 2003).

Com isso, existe a possibilidade do aproveitamento destes resíduos em unidades fabris com objetivos socioeconômicos, gerando mais empregos pela possibilidade da transformação de resíduos em novos produtos.

2.2 Qualidade dos resíduos de madeira

O uso adequado dos resíduos madeireiros depende da qualidade e da finalidade do produto final. As empresas tem a necessidade de controlar a qualidade dos produtos que compram ou produzem. E diversos são os fatores que influenciam a qualidade dos resíduos como o processo, mão de obra e principalmente a matéria prima.

2.2.1 Umidade dos resíduos e influência no processo de briquetagem

Os tipos de água existentes na madeira são frequentemente classificados da seguinte forma: (1) água livre ou capilar: aquela localizada nos lumes celulares e nos

espaços intercelulares e (2) água higroscópica ou de impregnação: aquela que se encontra adsorvida pelas paredes celulares (KOLLMANN; CÔTE JÚNIOR, 1968).

A umidade referente ao estado em que, teoricamente, apenas as paredes celulares estão saturadas e os lumes e os espaços intercelulares estão sem o líquido é denominado ponto de saturação das fibras (PSF). Abaixo do PSF ocorrem alterações significativas na resistência mecânica, nas propriedades físicas e nas propriedades elétricas da madeira (GALVÃO; JANKOWSKY, 1988).

Simpson (1991) afirmou que o PSF para as espécies em geral situa-se em torno de 30%. Para Skaar (1988), as propriedades mecânicas da madeira aumentam com o decréscimo de umidade abaixo do PSF.

A determinação precisa da umidade beneficia uma correta utilização do produto final e durante o processo de secagem da madeira é imprescindível para a obtenção de produtos com qualidade e com menores perdas de matéria-prima, com grande vantagem econômica.

De acordo com Carmo (1996) as umidades mais elevadas da madeira ocorrem na base do tronco das árvores e próximo da medula, com diminuição nos sentidos longitudinal e radial, com a ressalva de que o teor de água indica valor mínimo no cerne mais externo, elevando-se novamente no alburno em árvores de *E. grandis*.

Ferreira (2007) estudaram a influência da umidade no poder calorífico em diferentes idades de árvores de *Pinus taeda*, sendo utilizados acículas, copas, galhos e cascas dessa madeira, verificaram que a copa com 14 anos de idade e a acícula de 10 anos de idade tiveram os maiores valores de umidade com 65 e 63 %, e possuem menor poder calorífico com 4805 e 5096 kcal.kg⁻¹, respectivamente.

Barroso, Vale e Xavier (2009) verificaram a umidade e o poder calorífico superior e inferior dos resíduos madeiráveis de sete espécies provenientes da poda de galhos da arborização urbana de Brasília/DF. Verificando sua viabilidade energética para utilização em setores comerciais e industriais. Os autores concluíram que deve ser elaborado um plano de secagem para reduzir a umidade da madeira, aumentando a eficiência e reduzindo os gastos com os mesmos. Com isso, beneficiaria a briquetagem, onde é gasto muita energia para "plastificar" a lignina e não desperdiçaria a energia aplicada para evaporar a água e diminuir a umidade do resíduo.

Na geração de energia a partir da biomassa, um parâmetro que deve ser controlado é o teor de umidade uma vez que, quanto menor o teor de umidade maior será a produção de calor por unidade de massa (VALE, 2000) haja vista que a presença de água representa poder calorífico negativo, pois parte da energia liberada é gasta na vaporização da água e se o teor de umidade for muito variável, poderá dificultar o processo de combustão, havendo necessidade de constantes ajustes no sistema (BRITO, 1986).

Neste sentido, em relação a eficiência do processo de combustão Farinhaque (1981) sugeriu um valor de umidade de 20% para a queima dos resíduos, visto que os valores superiores reduzem o valor do calor de combustão, a temperatura da câmara de queima e a temperatura dos gases de escape.

2.2.2 Importância da granulometria dos resíduos na briquetagem

Vale ressaltar a importância da granulometria dos resíduos, pois quanto menor o tamanho da partícula, maior é a área superficial da mesma, necessitando de mais adesivo para obter maior resistência mecânica, caso a briquetagem necessite de aglutinante (PEREIRA, 2009). Em um estudo realizado por Cruz (2008) onde produziu briquetes a partir da adição de finos de carvão vegetal de *Schizolobium amazonicum* (paricá) aos finos de *Eucalyptus sp.* com diferentes proporções de adesivos, amido de milho e silicato de sódio, utilizando-se para isso pequenas partículas dos resíduos com duas granulometrias, 35 e 60 Mesh.

Segundo o autor, com a mesma proporção de adesivos os maiores percentuais de materiais voláteis desprendidos dos briquetes foram observados naqueles produzidos na granulometria de 60 mesh, ou seja, o resíduo é mais fino do que ficou retido na peneira de 35 Mesh.

A granulometria não só influencia na aglomeração das partículas, com ou sem aglutinantes, mas também nas propriedades físico-mecânicas dos briquetes. Pois, Brito (1986) produzindo briquetes experimentais de carvão de casca de pinus, constatou que a granulometria do carvão e a força de prensagem influencia significativamente na densidade relativa aparente e também na resistência ao esmagamento, devido a maior massa no mesmo volume.

No estudo de Pereira (2009) sobre propriedades físico-químicas de briquetes aglutinados com adesivo de silicato de sódio, concluiu-se que a granulometria dos

briquetes de finos de carvão vegetal de *Eucalyptus* sp com granulometria de 35 Mesh, não teve efeito isolado sobre as propriedades dos briquetes como densidade aparente, análise química imediata e poder calorífico, exceto para a quantidade de materiais voláteis em relação à granulometria de 20 e 60 Mesh para a mesma porcentagem de adesivo.

Segundo Kaliyan e Morey (2009) o tamanho das partículas é um influenciador importante da durabilidade e resistência dos briquetes, evidenciando a importância da classificação granulométrica da biomassa antes da compactação. Sendo que menores partículas facilitam a união das mesmas, diminuindo os espaços vazios entre as partículas proporcionando maior densidade relativa aparente.

2.2.3 Resistência dos briquetes

A redução do volume do material e as resistências mecânicas ao impacto permite que materiais originalmente finos possam ser transportados e armazenados de forma mais econômica (KOMAREK, 1991).

De acordo com o destino ou finalidade dada após a produção dos briquetes, estes deverão possuir características ideais, como resistência ao manuseio, transporte, estocagem, acendimento e, principalmente, baixa toxidez para uso doméstico e resistência ao calor, funcionando com termo redutor, para o setor siderúrgico (PEREIRA, 2009).

As características dos briquetes são avaliadas por alguns testes, que são principalmente: resistência à compressão, responsável para dizer o quanto suporta um briquete caso seja empilhado no estoque; ao impacto, por causa do transporte dos briquetes; à abrasão, pois os briquetes dentro das embalagens, como big bags, sofrem atritos entre eles podendo esfarelar; e à absorção de água, dependendo do lugar onde for manuseado ou estocado podendo haver água no local (SAMPAIO et al., 2007).

Todos estes testes medem aspectos de qualidade dos briquetes. No entanto, estes resultados devem ser interpretados com cuidado, porque são influenciados pelo tamanho e forma dos briquetes, e ainda pelas propriedades dos materiais a partir dos quais são produzidos (QUIRINO, 1991).

Pois segundo o mesmo autor a friabilidade ou resistência à abrasão e a resistência ao esmagamento, representada pela carga de ruptura, variam

principalmente entre os briquetes brasileiros. E resistência do briquete à ruptura pela compressão possui boas correlações lineares com o teor de carbono fixo e com o teor de cinzas, sugerindo-se que deve haver aumento de resistência do briquete com redução do teor de cinzas e, conseqüentemente, aumento do teor de carbono fixo.

Em caso de briquetagem que exigem aglutinantes para a aderência dos resíduos, a necessidade de alta resistência à compressão e à temperatura é concedida por adesivos termoplásticos. Como no caso dos derivados de petróleo, como betume e alcatrão (SAMPAIO et al., 2007).

2.2.4 Densidade dos resíduos de madeira

Como conceito físico a densidade é a quantidade de massa contida na unidade de volume Besley (1966). Souza et al. (1986) relataram a densidade como um dos mais importantes parâmetros para avaliação da qualidade da madeira, por ser de fácil determinação e estar relacionada às demais características do material.

Dependendo da condição de umidade da amostra, a densidade pode ser descrita de várias formas. As formas mais usuais de determinação são a densidade básica e a densidade relativa aparente. A primeira forma, densidade básica, relaciona a massa da madeira completamente seca em estufa, com o seu respectivo volume saturado, ou seja, acima do ponto de saturação das fibras (PSF). A segunda, que do ponto de vista prático, é maior o interesse na sua determinação, devido ao fato desta ser realizada com determinação de massa e volume a um mesmo valor da umidade, para as condições internacionais é de 12% (OLIVEIRA, 1997).

Portanto, estipular as correlações entre a densidade aparente e propriedades físicas, de resistência e de rigidez da madeira é fundamental para o uso correto da madeira.

Madeira mais homogênea, no que diz respeito à sua densidade no interior do tronco, sem dúvida nenhuma poderá se comportar melhor nas operações de processamento e refletir maior uniformidade nas demais propriedades tecnológicas. As peças de madeira com menor variação de densidade são adequadas para utilizações que exigem material homogêneo e com menor variabilidade nas propriedades físico-mecânicas (OLIVEIRA et al., 2005).

Uma outra forma para obter a densidade da madeira e de resíduos, é a densidade a granel, sendo calculada a partir da relação entre o peso do material e o volume do recipiente, dada em kg.m^{-3} , conforme a NBR 6922 (ABNT, 1983).

Santiago e Andrade (2005) determinaram a massa específica aparente a granel do *Eucalyptus urophylla* aos 7 anos de idade e de três resíduos: lascas, cascas e maravalhas provenientes do processamento mecânico da madeira de *Eucalyptus* sp de 45 anos em uma serraria. Obtendo os resultados de densidades para as lascas, cascas, maravalhas e para o *Eucalyptus urophylla* de 190 kg.m^{-3} , 190 kg.m^{-3} , 130 kg.m^{-3} , 280 kg.m^{-3} respectivamente. Observando-se então uma grande diferença entre a densidade dos resíduos do *Eucalyptus* sp com a densidade da madeira do *Eucalyptus urophylla*.

Hillig et al. (2009) verificaram a densidade a granel dos resíduos de diferentes classes, provenientes das madeiras de *Pinus taeda*, *Eucalyptus* sp., *Apuleia leiocarpa* (garapeira) e *Tabebuia cassinoides* (caixeta) e encontraram valores médios de densidade a granel citados para as diferentes classes de resíduos sendo para a serragem com heterogeneidade de materiais (cascas, resíduos de laminas e madeira), obtendo 223 kg.m^{-3} e serragem de madeira serrada com 216 kg.m^{-3} .

2.2.5 Composição química da madeira

Do ponto de vista da análise dos componentes da madeira, uma distinção precisa ser realizada entre os principais componentes macromoleculares constituintes da parede celular, os quais são, celulose, polioses (hemiceluloses) e lignina, que estão presentes em todas as madeiras, e os componentes minoritários de baixo peso molecular, extrativos e substâncias minerais, os quais são geralmente mais relacionados a madeira de certas espécies, no tipo e quantidade. As proporções e composição química da lignina e polioses diferem em coníferas e folhosas, enquanto que a celulose é um componente uniforme da madeira (KLOCK, 2005). A composição média dos constituintes macromoleculares na madeira pode ser visualizada na Tabela 1.

Tabela 1 - Composição média dos constituintes macromoleculares na madeira.

Constituintes	Coníferas	Folhosas
Celulose	42 ± 2%	45 ± 2%
Hemicelulose	27 ± 2%	30 ± 5%
Lignina	28 ± 2%	20 ± 4%

Fonte: Klock et al. (2005).

De acordo com Stamm (1964), Browning (1967) e Rowe (1989) a celulose se encontra na forma de microfibrilas, uma associação de moléculas de celulose, contendo regiões ordenadas e não ordenadas.

Devido à sua estrutura supramolecular, assim como suas propriedades químicas e físicas, a celulose é considerada o principal componente estrutural das paredes celulares dos vegetais. É organizada em fibrilas elementares (diâmetro de 1,2 a 4,8 nm) e as regiões com cadeias de celulose orientadas são chamadas de cristalinos. A celulose representa 50% em média da madeira, deste total, aproximadamente 65% são formados por celulose cristalina (FENGEL; WEGENER, 1984).

Stamm (1964) definiu o termo hemicelulose como a substância matriz presente entre as microfibrilas de celulose, referente aos polímeros de polissacarídeos de baixo peso molecular, que estão fortemente associados à celulose nos tecidos da madeira. Fengel e Wegener (1984), afirmaram que a hemicelulose encontra-se em associação direta com a celulose na parede celular e funcionam como agentes de acoplamento entre a celulose e a lignina.

Stamm (1964) caracterizou a lignina como a substância que confere rigidez à parede celular, por atuar como agente permanente de ligação entre as células, tornando-as capazes de resistir a tensões mecânicas consideráveis. Para Sjöström (1981) a lignina é um polímero tridimensional complexo de unidades de fenilpropano, completamente amorfo, que serve como material incrustante em torno das microfibrilas.

A composição química da madeira influencia nas propriedades físico-química do carvão, pois, quanto maior o teor de lignina presente na madeira, mais energético será o carvão e ocorrerá um maior rendimento gravimétrico no fim do processo de carbonização, isso acontece em função da alta resistência térmica da lignina que é o

composto primário que possui maior teor de carbono em sua composição (PIMENTA; BARCELLOS, 2000).

Paula et al. (2010) em um estudo sobre a caracterização química de resíduos lignocelulósicos visando à produção de energia verificou que para a serragem encontraram valores de 9,37% de extrativo; 21,88% de lignina e 68,57% para a holocelulose, e para a maravalha foram, 5,60% de extrativo; 20,62% de lignina e 73,65% de holocelulose, concluindo, que os resíduos possuem potencial para a utilização energética.

Santana (2009) avaliou o poder energético da madeira de um clone de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* em diferentes idades, realizando uma relação de carbono/nitrogênio e carbono/hidrogênio. Os valores encontrados variaram de 374,77 a 543,67 e 7,29 a 7,40, respectivamente para carbono/nitrogênio e carbono/hidrogênio. Concluindo que a madeira analisada estava adequada para produção de energia.

Couto (2009) analisou o poder energético da serragem de *Eucalyptus* sp., realizando a análise elementar, cujo os valores obtidos em porcentagens para o carbono, hidrogênio, nitrogênio, enxofre e oxigênio foram 45,5, 6,2, 0,13, 0,07, 48,1 respectivamente. Foi concluído que os valores estão adequados para a produção de energia.

2.2.6 Teor de cinzas dos resíduos de madeira

A cinza é um resíduo mineral proveniente dos componentes minerais do lenho e da casca (COTTA, 1996). Segundo Freddo (1997) os principais íons minerais normalmente encontrados em cinzas de madeira são potássio, cálcio, magnésio, pequenas quantidades de sódio, manganês, ferro, alumínio, além de radicais como carbonatos, silicatos, cloretos, sulfatos. Existem também traços de outros elementos como zinco, cobre e cromo.

O elemento predominante é o cálcio com 82-95%, o potássio e o magnésio ocorrem em quantidades secundárias. Em muitos casos, a quantidade dos outros elementos é inferior a 1% da soma de todos os outros (FENGEL; WEGENER, 1984).

Estudos realizados por Kaka e Goring (1983) citados por Andrade (1989), constataram que o conteúdo de minerais no lenho inicial é maior do que aquele encontrado no lenho tardio, em razão da primeira região ser uma área de intensa

atividade fisiológica. O alburno também possui ligeiramente mais cinza que o cerne (FOELKEL, 1977).

De acordo com Fengel e Wegener (1984) o teor de cinzas na casca de diversas madeiras é superior a 10%, ou seja, cerca de 10 vezes mais elevado que na madeira. Em um estudo realizado por Brito e Barrichelo (1977) verificaram-se que a quantidade de cinzas produzida na casca é de 300 a 2.000% maiores do que no lenho. Para Barcellos (2007) o efeito da casca é amenizado por quantidades significativamente maiores da madeira.

Porém os minerais presentes na madeira e carvão são considerados indesejáveis do ponto de vista energético, pois, podem em algumas situações, quando queimados em fornalhas e caldeiras formarem incrustações nos equipamentos e tubulações (BARCELOS, 2007). Pois em alguns casos, como na obtenção de resíduos em uma serraria, tais resíduos estão situados em pátios ao ar livre, onde por exemplo, estão contaminados com areia, acarretando numa maior quantidade de cinzas.

Santiago e Andrade (2005) avaliaram três resíduos, sendo as lascas, cascas e maravalhas, provenientes do processamento mecânico da madeira de *Eucalyptus* spp de 45 anos. Foram utilizadas duas temperaturas máximas, visando à determinação dos materiais voláteis, cinzas e carbono fixo. Os resultados podem ser visualizados na Tabela 2.

Tabela 2 – Análise química imediata dos resíduos de *Eucalyptus* spp.

Material carbonizado	Materiais voláteis (%)		Cinzas (%)		Carbono fixo (%)	
	400°C	600°C	400°C	600°C	400°C	600°C
Lascas	28,3	10,5	1,2	1,6	70,5	87,4
Cascas	27,4	10,4	2,0	2,1	70,6	88,0
Maravalhas	27,4	9,2	1,6	1,9	71,0	88,9

Fonte: Santiago e Andrade (2005).

Segundo os mesmos autores o teor de cinzas aumentou quando foi carbonizado a 600°C. Concluíram ainda que o material carbonizado à temperatura de 600°C possui melhores propriedades energéticas, fato este, pois obteve maior

teor de carbono fixo e menor teor de material volátil. Mas nem sempre esta condição de temperatura será desejável.

2.2.7 Usos dos resíduos de madeira

Diversas pesquisas vêm sendo desenvolvidas com o objetivo de solucionar a utilização dos resíduos de madeira, como a briquetagem, que é uma das alternativas tecnológicas para contornar os problemas da desuniformidade (dificultando o manuseio), controle da queima, baixo poder calorífico, densidade e umidade variável. Facilitando o manuseio e o transporte, agregando maior valor aos resíduos, pois substitui diretamente a lenha nos equipamentos onde esta é queimada (LIMA, 1998).

Para Naime et al. (2003) uma solução para o aproveitamento dos resíduos sólidos é a biopolpação, cujo os mecanismos de biodegradação dos materiais lignocelulósicos, conduzidos de forma controlada por fungos pré-selecionados torna-se uma importante alternativa para os tratamentos biotecnológicos de aplicação industrial para a solução adequada da questão dos resíduos sólidos. A aplicação deste processo permite tornar cavacos e resíduos como matéria-prima para a fabricação de papel.

A compostagem é uma alternativa às serrarias para solucionar o problema do acúmulo dos seus resíduos em seu pátio, é um processo biológico em que os microrganismos transformam a matéria orgânica num material semelhante ao solo, a que se chama composto, e que pode ser utilizado como adubo (PROCESSO DE COMPOSTAGEM, 2012).

Além da utilização do pó-de-serra para produção de adubo orgânico, outra solução foi encontrada aos resíduos da atividade madeireira, trata-se da substituição da lenha na fabricação de tijolos, onde foi criado um sistema de queima do pó-de-serra nos fornos da olaria, o qual é impulsionado por um exaustor, passando previamente por um processo de secagem. Esse sistema surgiu por causa dos altos custos e a crescente dificuldade de adquirir lenha para fazer a queima dos tijolos (NETTO, 2002).

Pequenos Objetos de Madeira (POM) também são produzidos pelo setor madeireiro/moveleiro, especialmente na confecção de objetos como artigo doméstico, decorativos, brinquedo, uso pessoal, esportivo, artesanato,

proporcionando renda e diminuindo o desperdício desta valiosa matéria-prima, a madeira (STERNARD, 2002).

Segundo Lima e Silva (2005) em um estudo sobre quantidade, os tipos, o aproveitamento e o tratamento dos resíduos gerados no processo de produção de móveis em indústrias de móveis de madeira situadas no Pólo Moveleiro de Arapongas, município localizado no norte do Paraná os resíduos mais produzidos foram os derivados da madeira, os quais eram recolhidos e conduzidos para serem processados em uma usina de resíduos para a produção de briquetes, onde os cepilhos e os destopos passam por um picador por meio de uma esteira trepidante, sendo misturados ao pó de madeira que vem direto dos silos das indústrias, e transformados em briquetes, sendo comercializado para uma indústria de ração animal para a geração de energia.

2.3 Briquetagem de resíduos madeireiros

Em 1848 foi concedida uma patente para William Easby nos Estados Unidos para um método de conversão de carvão triturado em torrões sólidos, por meio da pressão. A justificativa de Easby realizada há 160 anos para a patente era de que um artigo de pequeno valor, quase desprezível, pode ser convertido em um artigo valioso como combustível para navios a vapor, forjas, padarias, pizzarias, economizando o que era perdido (O PROCESSO DE BRIQUETAGEM, 2012).

Outro aspecto interessante é que com a densificação do resíduo, consegue-se aumentar o poder calorífico do mesmo, ou seja, haverá uma maior massa de resíduos em um volume gerando maior quantidade de calor na combustão (QUIRINO, 2002). O qual evidencia uma importante característica de vantagem do briquete em relação à lenha que segundo Bezzon (1994), a compactação de descartes de madeira produz combustíveis sólidos de excelente qualidade. Em alguns casos possuem densidade, poder calorífico e resistência mecânica superiores à lenha, além de possuírem baixa umidade.

O poder calorífico é a medida da quantidade de energia que o combustível libera quando queimado totalmente, dado normalmente cal/g ou kcal/kg para os combustíveis sólidos e líquidos, e em kcal/m³ para os combustíveis gasosos (QUIRINO et al., 2004).

O poder calorífico superior é obtido em equipamentos apropriados denominados de calorímetros, sendo a medida da máxima quantidade de energia que um combustível pode liberar, pois aqui o calor latente do vapor d'água não é perdido. O poder calorífico inferior é obtido sem levar em consideração o calor latente do vapor d'água. A água gerada é perdida sob a forma de vapor pelo sistema, levando consigo uma parte da energia liberada pelo material, sendo o calor latente do vapor d'água (PIMENTA; BARCELLOS, 2000).

Algumas características da madeira influenciam o valor do seu poder calorífico. Quanto menor a umidade da madeira, maior será a produção de calor por unidade de massa. A madeira não deve possuir umidade superior a 25%, pois os valores superiores reduzem o valor do calor de combustão, a temperatura da câmara de queima e a temperatura dos gases de escape. Os constituintes químicos da madeira, também têm influência sobre o poder calorífico (VALE, 2000).

Segundo Pereira (2000) as madeiras mais densas apresentam maior poder calorífico por unidade volumétrica e madeiras mais leves possuem aproximadamente o mesmo poder calorífico por unidade de peso, mas possuem menor poder calorífico por unidade de volume.

A briquetagem é uma forma eficiente para concentrar a energia disponível na biomassa. Em que 1,00 m³ de briquetes contêm pelo menos cinco vezes mais energia que 1,00 m³ de resíduos. Isso, levando-se em consideração a densidade a granel o poder calorífico médio e o volume desses materiais (QUIRINO, 1991).

Referindo-se aos produtos adensados energéticos, Varela et al. (1999) relataram que do ponto de vista econômico e quanto à redução dos impactos ambientais relacionados à produção, transporte e uso de combustíveis fósseis, é mais vantajosa a utilização de descartes lignocelulósicos em forma de briquete.

Este alto poder calorífico propicia o uso em geração de energia, por meio da queima direta podendo ser utilizada em caldeiras para geração de vapor, fornos de pizzarias e padarias, em empresas madeireiras que promovem a secagem de madeira, ou em termelétricas, gerando o vapor superaquecido que será transformado em energia elétrica.

O destino de queima depende das dimensões dos briquetes, do tipo de máquinas e de outros fatores entre eles automação industrial ou espaço disponível para queima em fornos e fornalhas (GROVER; MISHRA, 1996).

Quando o briquete é utilizado em sistemas industriais que tem automação do combustível, principalmente em fornalhas que acionam caldeiras para geração de vapor, muitas vezes este briquete vem em forma de bolachas, onde o comprimento varia de 2 a 5 cm e mantendo os diâmetros originais. Isso facilita o fluxo dos briquetes e mantêm a pressão constante de vapor (ALAKANGAS, 2006).

Os primeiros processos de briquetagem de resíduos de madeira segundo Moro (1987) consistiram em:

- a) Escolha do material: a etapa inicial desse processo vai depender do tipo de matéria-prima de biomassa, do tipo de briquete que se pretende gerar e de características próprias da biomassa, como o tamanho das partículas, umidade e densidade.
- b) Secagem: deve ser realizada com passagem de ar quente e seco, para remover a umidade do resíduo.
- c) Moagem dos resíduos: os resíduos devem ser triturados para evitar partículas muito grandes no processo de briquetagem, dificultando a ação dos aglutinantes, quando este for necessário.
- d) Peneiramento: separação dos resíduos por granulometria das partículas, determinando a classificação das partículas, assim com a finalidade de eliminar as partículas indesejadas.
- e) Mistura com aglutinante: quando for o caso o aglutinante é responsável pela aderência dos resíduos. É a parte que necessita de maior atenção na manufatura dos briquetes, pois a escolha do tipo e da qualidade pode ser muito significativa ao custo do processo.
- f) Prensagem: a prensagem propriamente dita proporciona a resistência aos briquetes, é realizada por meio de prensas que aplicam altas pressões e temperaturas a massa de resíduo e ao ligante acarretando em formas geométricas definidas.
- g) Estocagem e embalagem: os briquetes devem ser armazenados em silos de estocagem dimensionados para manter um estoque intermediário entre a produção e a distribuição. Em seguida, são empacotados para transporte.

Segundo Alves Júnior e Santos (2002) o processo de briquetagem consiste na trituração dos resíduos da madeira (moagem) e posterior compactação a elevadas pressões, o que pode provocar a elevação da temperatura do

processamento na ordem de 100°C. O aumento da temperatura provoca a plastificação da lignina, substância que atua como elemento aglomerante das partículas de madeira. De acordo com os mesmos autores, para que a briquetagem tenha sucesso, o material deve ter umidade entre 8% a 15% e o tamanho de partícula entre 5 a 10 mm para facilitar a prensagem e a aderência das partículas e para Rowell (1987) o briquete de madeira é comprimido com uma carga média de 6 tf a 8 tf, tensão de 90 kg.cm⁻² a 145 kg.cm⁻².

Os briquetes podem ser produzidos utilizando apenas um material ligno-celulósico ou a mistura deles. É comum adicionar serragem aos produzidos com outros materiais e o carvão vegetal, para aumentar o poder calorífico, os resíduos de coníferas são de melhor qualidade a folhosas, por ter, em geral, maior poder calorífico devido ao maior teor de lignina. Para briquetes de carvão vegetal, misturam-se aglutinantes de natureza diversa, sendo os mais utilizados os de amido de milho (QUIRINO, 2012).

O processo de briquetagem, segundo Serviço Brasileiro de Normas Técnicas (2007), é físico e consiste na compactação do resíduo em forma de cilindros ou retângulos, por meio da aplicação de elevadas pressões e temperaturas, com o objetivo de aumentar a sua densidade, facilitando seu transporte, armazenamento e otimizando as características energéticas dos resíduos vegetais.

3 METODOLOGIA

Os resíduos estudados provenientes do híbrido *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus grandis* de 16 anos de idade foram a biomassa (pó de serra + casca triturada + finos da peneira na classificação do cavaco + pó seco) e o cavaco proveniente das costaneiras, refilos, pontas de tábuas e toras. Estes resíduos provem do desdobro da madeira na serraria onde processam um volume mensal de 4500 m³ de madeira serrada. As toras passaram no descascador Ring debarker em linha com a serraria e a porcentagem de casca nos cavacos considerada pela serraria é de 1%.

A pesquisa foi dividida em três etapas. A primeira etapa consistiu numa visita à serraria para coleta representativa do material residual. Além dos resíduos estudados (biomassa e cavaco), a serraria produz o pó seco constituído por maravalhas da madeira seca, os quais não foram avaliados neste trabalho.

A segunda etapa abordou a caracterização química e a classificação em duas granulometrias de 40 e 60 Mesh da biomassa e cavacos gerados na serraria para verificar se possuem condições prévias para utilização energética. O material foi coletado no pátio da serraria e transportado até o Laboratório de Energia da Biomassa do Departamento de Ciências Florestais e da Madeira (DCFM) do Centro de Ciências Agrárias (CCA) da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), situado em Jerônimo Monteiro, ES, para realização das análises. A composição elementar da biomassa e cavaco foi determinada no Laboratório de Energia da Biomassa da Universidade Federal de Lavras – MG.

A terceira etapa consistiu na produção dos 80 briquetes, sendo, 20 briquetes para cada granulometria de cada resíduo, utilizando a briquetadeira laboratorial, fabricada em aço inox e porcelana, com cilindro de força máxima de 10 toneladas e resistência elétrica atingindo até 300°C. Fornecendo uma pressão de 100 kgf.cm⁻² e a quantidade do material foram limitadas pelo volume do cilindro da briquetadeira utilizada.

3.1 Avaliações do material

Para a densidade a granel da biomassa e cavaco triturado, foram seguidas as informações contidas na NBR 6922 da ABNT (1981). Utilizando-se a relação entre a massa do material e o volume do recipiente.

Cinco gramas da biomassa e cavaco triturado, foram colocados em estufa à temperatura de $103 \pm 2^\circ\text{C}$ até massa constante. Após a medição da massa seca e massa úmida determinou-se a umidade da biomassa e do cavaco.

A determinação do teor de cinzas foi realizada conforme a ABTCP M 11/77 (1997). Em cadinhos de porcelana foram alocadas cinco gramas secos da biomassa e cavaco triturado. Em seguida, os cadinhos foram levados à mufla a 575°C por aproximadamente seis horas. Eles estiveram dispostos no interior da mufla com tampa de porcelana. Após a carbonização das amostras, as tampas foram retiradas e os cadinhos permaneceram na mufla até a queima total das amostras, certificando que sobraram somente cinzas no fundo do cadinho. Após esse procedimento, as amostras foram retiradas da mufla e alocadas em um dessecador para o resfriamento e em seguida a pesagem, e determinação do teor de cinzas.

O material utilizado para a determinação dos extrativos foi o que passou pela peneira de 40 mesh e permaneceu retido na de 60 mesh, foram utilizados 2 gramas proveniente das amostras de biomassa e cavaco secos em 3 diferentes tipos de solvente. Inicialmente as amostras foram submetidas à extração em álcool tolueno por 5 horas. Em seguida, as mesmas amostras foram submetidas à extração em álcool por 4 horas, e por último realizada a extração em água quente por 1 hora. O produto da extração, uma mistura de solventes e extrativos foi evaporada em estufa a $103,0 \pm 2,0^\circ\text{C}$ para remoção dos solventes. As amostras foram pesadas e o teor de extrativo determinado (ABTCP M/68).

Tomou-se $0,3 \pm 0,0001\text{g}$ da amostra, e esta foi submetida à hidrólise com ácido sulfúrico por 60 minutos ($30,0 \pm 1,0^\circ\text{C}$), autoclavada por 60 minutos e filtrada. Considerando o sólido retido a lignina insolúvel, determinada por diferença de massa (GOMIDE; DEMUNER, 1986). O líquido remanescente da filtração da lignina insolúvel foi analisado em espectrofotômetro UV, para determinação da lignina

solúvel (GOLDSHIMID, 1971). O teor de lignina total consistiu na soma das frações solúvel e insolúvel e a holocelulose foi determinada pela diferença entre a massa inicial e a quantidade de extrativos e lignina total.

A análise elementar das amostras, sendo determinado os teores de carbono, hidrogênio, nitrogênio, enxofre, será determinada com amostras de 0,3 mg da biomassa e cavaco triturados e secos, com granulométrica de 270 Mesh, sendo realizada no equipamento do tipo analisador elementar.

3.2 Processo de briquetagem dos resíduos da madeira

As amostras da biomassa e cavaco foram trituradas e classificadas em peneiras de 40/60 Mesh, sendo testadas as duas granulometrias separadamente, o material foi previamente seco em estufa a $103^{\circ}\text{C} \pm 2$. A compactação do material foi realizada em uma briquetadeira laboratorial da marca Lippel[®], modelo LB 32, com temperatura de 120°C , pressão de 100 kgf.cm^{-2} , tempo de compactação de cinco minutos, resfriamento de sete minutos, a quantidade de material foi limitada pelo volume do cilindro da briquetadeira utilizada ilustrada na Figura 1. Os briquetes produzidos foram encaminhados para climatização para posteriormente serem avaliados.



Figura 1: Briquetadeira de laboratório de marca Lippel.

3.3 Avaliação da resistência à compressão, densidade relativa aparente e absorção de água dos briquetes

A densidade relativa aparente dos briquetes foi determinada por meio do método estequiométrico, o qual consistiu em obter o volume a partir de medições, utilizando-se um paquímetro e a massa do briquete em uma balança com precisão de 0,001 gramas (Figura 2).

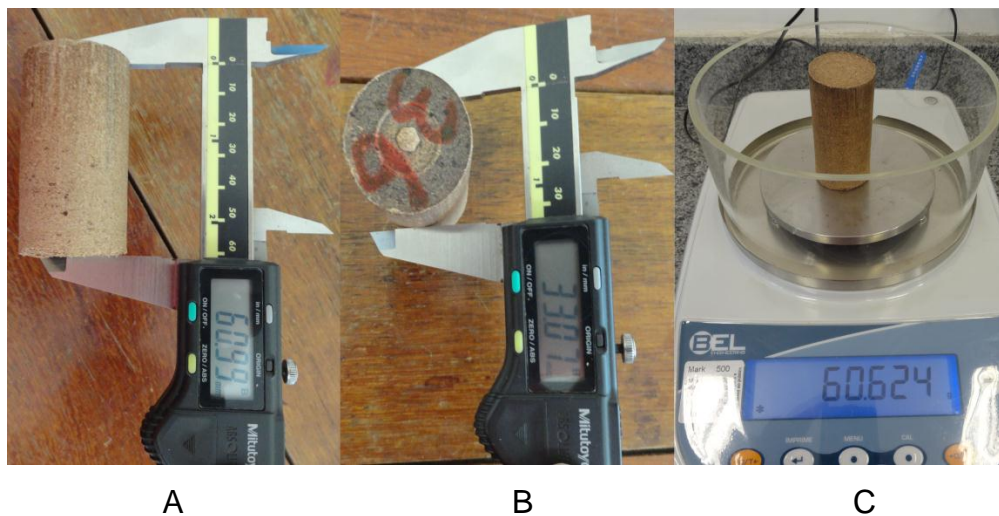


Figura 2: Determinação da densidade relativa aparente dos briquetes, (A) (B) medição das dimensões do briquete e (C) massa do briquete.

O valor de resistência à compressão dos briquetes de ambas as granulometrias foi calculado em função da força de resistência do briquete até a ruptura da carga de tensão. A aplicação da força perpendicular na lateral do briquete com velocidade de ensaio de $3 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ (Figura 3). O procedimento de análise foi de acordo com a metodologia NBR 7190 – Anexo B (ABNT, 1997), uma vez que não se tem normas específicas para testes em briquetes.

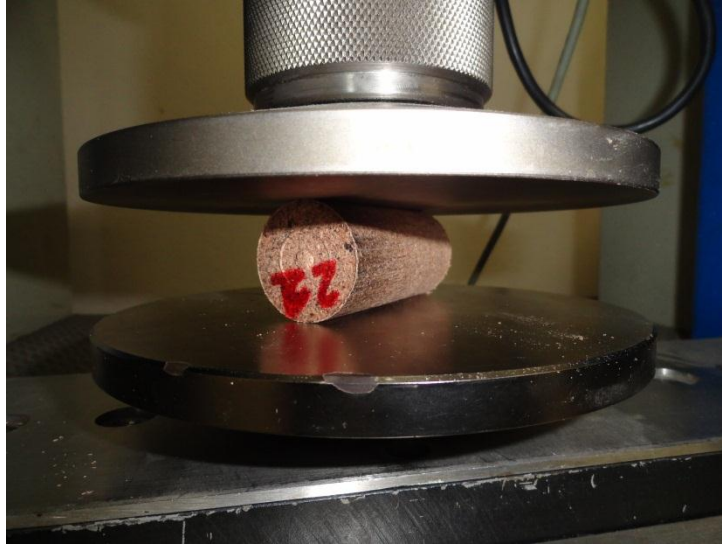


Figura 3: Ensaio de compressão axial do briquete

A resistência à absorção de água foi determinada por meio da imersão do briquete em um recipiente com água, determinando-se a variação de peso ao longo do tempo. Nesta análise, os briquetes ficaram imersos em água por 2 horas, respectivamente, medindo-se a massa ao final do tempo (CUNHA et al., 2006).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Quantificação dos resíduos

De acordo são gerados na serraria são gerados mensalmente 7000 m³ de cavaco e 6000 m³ de biomassa, proveniente da usinagem da madeira do híbrido *Eucalyptus urophylla Eucalyptus grandis* com 16 anos de idade, os quais estão disponíveis para venda.

Portanto, sabendo-se o volume dos resíduos de biomassa e cavaco, gerados por mês, foi calculado o volume gerado em um dia, considerando 20 dias de funcionamento da indústria por mês (Tabela 3).

Tabela 3 – Volume de resíduos gerados na indústria.

Resíduo	m ³ .dia ⁻¹	m ³ .mês ⁻¹	Percentual
Biomassa	300	6000	46,15
Cavaco	350	7000	53,85

Fonte: Dados fornecidos pela empresa Bahia Produtos de Madeira.

4.2 Classificação dos resíduos

Na Tabela 4, encontram-se os valores médios obtidos para a densidade a granel (DA) em kg.m⁻³, umidade (%), teor de cinzas (%), extrativos totais (%), lignina total (%) e holocelulose (%) dos resíduos da madeira.

Tabela 4 – Valores médios para a densidade a granel (DA), umidade (U), teor de cinzas (TCz), extrativos totais, lignina total e holocelulose dos resíduos da madeira.

Resíduo da madeira	DA (kg.m ⁻³)	U (%)	TCz (%)	Extrativos (%)	Lignina total (%)	Holocelulose (%)
Biomassa	155	12	2,6	5	33	62
Cavaco	225	11	0,2	4	33	63
MÉDIA	190	11,5	1,4	4,5	33	62,5

Como observado na Tabela 4, a biomassa possui maior umidade, teor de cinzas devido estar contaminada com areia, pois tais resíduos ficam dispostos no pátio da serraria, e extrativos totais. Já o cavaco, possui maior densidade a granel, por pesar mais em um mesmo volume, e teor de holocelulose.

A biomassa possui densidade a granel de 155 kg.m^{-3} , valor inferior ao encontrado em estudos realizados anteriormente por Quirino (2002), que possui um valor de 274 kg.m^{-3} para serragem e por Gentil (2008), que encontrou um valor para a mistura das amostras de serragem com suas devidas porcentagens, das espécies de *Pinus caribaea*, maçaranduba e casca de algodão de 306 kg.m^{-3} .

Os valores relativamente baixos de densidade a granel encontrados neste trabalho demonstram que a biomassa é adequada para a produção de briquetes, pois, segundo Quirino (2012), quanto menor for a densidade a granel do resíduo, maior será o aumento do poder calorífico quando o material for compactado, levando-se em consideração o volume desse material.

Para o teor de cinzas foi encontrado um valor médio de 1,4%, ou seja, de acordo com a literatura. Wander (2001) citou que “raramente as cinzas ultrapassam os 2%”. Em um estudo realizado com resíduos lignocelulósicos da madeira, serragem e maravalha, Paula et al., (2010) encontraram valores de 0,18% e 0,13% de teor de cinzas, respectivamente.

De acordo com TSOUMIS (1991) o conteúdo de cinzas raramente é menor que 0,2% ou maior que 1% do peso seco das madeiras. Especificamente para a madeira do gênero *Eucalyptus*, o teor de cinzas raramente chega a 1% do seu peso seco.

Analisando separadamente a biomassa e o cavaco, a produção de briquetes possui um ponto negativo se produzido somente com biomassa, pois o valor do teor de cinzas superou os 2% citados em literaturas. Já para o cavaco que possui um baixo valor do teor de cinzas, de 0,2%, seria um bom resíduo para produção de briquetes.

Portanto, pode-se afirmar que a mistura entre biomassa e cavaco esta adequada para geração de energia pelo fato de possuir baixos teores de cinzas, pois para Barcelos (2007) quando a madeira é utilizada para produção de energia, as cinzas presentes podem formar incrustações nos equipamentos e tubulações,

prejudicando o processo e a produção. A utilização de uma peneira vibratória, para separar a areia dos resíduos de biomassa e cavaco, minimizaria a contaminação do material.

De acordo com o estudo, a média do teor de extrativos foi de 4,5%. Segundo Klock, et al. (2005) aproximadamente de 3 a 10% da madeira é constituída por extrativos, portanto o valor encontrado neste estudo está de acordo com a literatura. Na análise realizada por Wehr (1991) sobre as alterações nas características da madeira de *Eucalyptus grandis* em diversas idades, encontraram-se teores médios de extrativos totais variando de 4,1 a 8,5%. Sendo assim, os resíduos estão adequados para a produção de energia, pois segundo Pereira (2000), alguns extrativos contribuem para o aumento do poder calorífico da madeira. Mas como a composição dos extrativos não foi determinada, neste trabalho não se pode afirmar que os extrativos contribuem para o aumento do poder calorífico.

O valor médio de lignina encontrado nos resíduos de 33%, sendo superior ao encontrado por Brito e Barrichelo (1977), 26,2%, em que utilizaram em seu experimento dez espécies de eucalipto, e à média encontrada por Barcellos (2007), de 26,1%, utilizou cinco espécies também de *Eucalyptus*.

A lignina possui várias correlações positivas em se tratando de fonte energética, como relatou Oliveira (1988), em que obteve uma correlação positiva do rendimento gravimétrico e massa específica básica com o teor de lignina em espécies de *Eucalyptus*.

E segundo Carmo (1988) a quantidade de carbono fixo fornecido por unidade de madeira é função da porcentagem de lignina da madeira. Por este alto valor de lignina presente em seus resíduos, o híbrido do *Eucalyptus urophylla* com o *Eucalyptus grandis* possui um excelente potencial energético em relação às outras espécies de eucalipto, sendo viável à produção de briquetes.

A holocelulose do cavaco obteve valor de 63%, relacionado ao baixo teor de cinzas e para a biomassa um valor de 62, relacionado ao alto teor de cinzas e o valor médio de 62,5% superior à 61,52% valor encontrado por Trugilho et al. (2003) estuaram as espécies de *E. grandis* e *E. saligna* e inferior a 63,62% valor encontrado por Mori et al. (2002) na madeira de *E. urophylla*.

De acordo com a Tabela 3 e 4, foi possível obter a quantidade de briquetes fabricados por mês, utilizando a densidade a granel e volume dos resíduos estudados neste trabalho, e a média da massa dos briquetes produzidos,

considerando as duas granulometrias, na briquetadeira laboratorial. Ilustrada na Tabela 5.

Tabela 5 – Quantidade de briquetes produzidos por mês.

Resíduo	Massa do resíduo (ton)	Massa do briquete (g)	Briquetes produzidos (milhões)
Biomassa	930	62	15
Cavaco	1575	66	24
TOTAL	2505	128	39

Considerando a embalagem dos briquetes em bigbags, com capacidade de 700 kg cada, a estocagem seria de 1329 e 2263 bigbags por mês para os resíduos de biomassa e cavaco respectivamente.

Uma bigbag com 700 kg de briquete pode ser vendida em média de R\$ 150,00 (SOUZA, 2007). O lucro da empresa por mês obtido com a venda de briquetes para os resíduos de biomassa e cavaco de acordo com a média de preço do saco do briquete e o número de bigbags é de R\$ 199350,00 e R\$ 339450,00 respectivamente.

Para uma comercialização fracionada, a empresa pode optar por embalagens com capacidade de 20 kg. Então seriam necessárias 46500 e 792000 embalagens por mês para biomassa e cavaco respectivamente.

Na Tabela 6 estão os resultados obtidos da análise elementar dos resíduos de biomassa e cavaco.

Tabela 6 – Valores médios de nitrogênio (N), carbono (C), hidrogênio (H), enxofre (S) e relação C/N e C/H dos resíduos madeireiros.

Resíduo	Elementos (%)					
	N	C	H	S	C/N	C/H
Biomassa	0,6	46	6	0,0	77	8
Cavaco	0,6	47	6	0,0	79	8
Média	0,6	46,5	6	0,0	78	8

Observando-se os resultados na Tabela 6 verifica-se que o teor de enxofre para todos os resíduos foi 0 %. Segundo Paula (2010) a presença de enxofre em combustíveis é indesejável, devido a problemas de corrosão e liberação do gás de dióxido de enxofre (SO₂) após combustão.

Os resíduos de biomassa e cavaco obtiveram valores aproximados para o nitrogênio (N), carbono (C) e hidrogênio (H). Seye et al. (2003) estudando resíduos de madeira, encontraram, na análise elementar resultados para C, H e N de 48,6%, 6,3% e 0,7% respectivamente, valores próximos aos encontrados para biomassa e cavaco neste estudo.

Os valores da relação C/N encontrado foram iguais para as amostras de biomassa e cavaco da madeira e para a relação C/H os valores foram próximos. Segundo Munalula e Meincken (2009) o maior valor de teor de nitrogênio está relacionado aos impactos ambientais e poluição do ar, em função da formação de óxidos de nitrogênio tóxicos e ácido nítrico. Para a relação C/H, os valores foram iguais para o cavaco e biomassa da madeira. De acordo com Paula (2010) quanto maior esta relação melhor para a produção de energia, pois, segundo Warhurs et al. (1997), o aumento na relação C/H indica um aumento no grau de aromaticidade do material.

4.3 Avaliação dos briquetes de resíduos

Os valores de resistência à compressão paralela (Kgf.cm^{-2}) e densidade relativa aparente dos briquetes (g.cm^{-3}) estão na Tabela 7.

Tabela 7 – Valore da Resistência à compressão paralela (Kgf.cm^{-2}) e densidade relativa aparente dos briquetes (g.cm^{-3}).

Amostra	Granulometria (Mesh)	Resistência à Compressão Paralela	Densidade relativa aparente
Biomassa	40	58,4 b (12,74) *	1,192 a (0,233)
	60	67,4 a (14,71)	1,134 b (0,144)
Cavaco	40	39,2 c (9,68)	1,078 c (0,247)
	60	60,7 ab (18,10)	1,133 b (0,299)

As médias seguidas por uma mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de significância.

* Valor entre parênteses indica o coeficiente de variação (%).

O briquete produzido com amostras de cavaco classificado na peneira de 40/60 Mesh não diferiu estatisticamente na resistência à compressão paralela (Kgf.cm^{-2}) do briquete produzido com biomassa classificado e retido na peneira de 40 e 60 Mesh. O maior valor encontrado para a resistência à compressão paralela foi para o briquete produzido com biomassa classificado na peneira de 40/60 Mesh com $67,4 \text{ Kgf.cm}^{-2}$, seguido pelo o briquete produzido com cavaco classificado na peneira de 40/60 Mesh com $60,7 \text{ Kgf.cm}^{-2}$, o briquete produzido com biomassa classificada e retido na peneira de 40 Mesh com $58,4 \text{ Kgf.cm}^{-2}$ e o briquete produzido com cavaco classificado e retido na peneira de 40 Mesh com $39,2 \text{ Kgf.cm}^{-2}$.

Estudando briquetes produzidos com carvão vegetal misturado a serragem, carvão mineral, nitrato, cinzas e aglomerante, Quirino e Brito (1991) encontraram

resistência à compressão média de $31,71 \text{ kgf.cm}^{-2}$, valor este inferior aos encontrados neste estudo. Fontes et al. (1984) encontraram $183,76 \text{ kgf.cm}^{-2}$, $245,74 \text{ kgf.cm}^{-2}$ e $229,70 \text{ kgf.cm}^{-2}$, para briquetes produzidos a partir de carvão vegetal e resina termoplástica sintética, resina termoplástica natural e resina termorrígida, respectivamente.

Para a densidade relativa aparente, a amostra do briquete produzido com cavaco classificado e retido na peneira de 40 Mesh diferiu estatisticamente das demais amostras, com o menor valor, $1,078 \text{ g.cm}^{-3}$ e o maior valor para o briquete produzido com biomassa classificado e retido na peneira de 40 Mesh com $1,192 \text{ g.cm}^{-3}$. Os resultados estão superiores ao de Quirino e Brito (1991) que encontraram densidades variando de $0,69$ a $0,99 \text{ g.cm}^{-3}$, para briquetes produzidos com carvão vegetal misturado à serragem, carvão mineral, nitrato, cinzas e aglomerante e superiores aos determinados por Silva (2007), que encontrou densidade aparente média de $0,51 \text{ g.cm}^{-3}$.

Não foi possível determinar a resistência à absorção de água de nenhum briquete. Este fato ocorreu porque, na realização do ensaio de absorção, os briquetes se desintegraram em contato com água. O ensaio não determinou o quanto o briquete absorveu de água, pois não foi possível a retirada dos mesmos do recipiente, inviabilizando a determinação da massa após a imersão na água.

5 CONCLUSÕES

Com base no estudo realizado, conclui-se que os resíduos de biomassa e cavaco são adequados à produção de energia e os briquetes produzidos com tais resíduos demonstram boa resistência à compressão paralela em função da densidade relativa aparente. Isso se deve, sobretudo:

- O briquete de biomassa classificado na peneira de 40/60 Mesh obteve maior resistência à compressão paralela e o briquete classificado e retido na peneira de 40 Mesh obteve maior densidade relativa aparente;
- O briquete produzido com cavaco classificado e retido na peneira de 40 Mesh possuiu menor compressão paralela devido a menor densidade relativa aparente e o briquete classificado na peneira de 40/60 Mesh possuiu a segunda maior compressão paralela;
- O resíduo de cavaco de madeira possuiu maior teor de carbono maior relação C/N;
- A relação C/H foi igual para o resíduo de biomassa e cavaco de madeira.

6 REFERÊNCIAS

A GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS. Disponível em <<http://repositorium.sdum.uminho.pt>>. Acesso em: 09 set 2012.

ALAKANGAS, E. **CEN-Technical Specifications for solid biofuels-Fuel specifications and classes.** Biomass and Bioenergy, n. 30, p. 908-914, 2006.

ALVES JUNIOR, F. T., SANTOS, G. A. Potencial de geração de biomassa para briquetagem e o perfil do mercado consumidor deste insumo na região do Cariri-CE. In: II Congresso IBERO-AMERICANO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS FLORESTAIS & I SEMINÁRIO EM TECNOLOGIA DA MADEIRAS E PRODUTOS FLORESTAIS NÃO-MADEIRÁVEIS. **Anais...FUPEF**, Curitiba, 2002.

ANDRADE, A. M. **Influência da Casca de *Eucalyptus grandis* no Rendimento e Qualidade de Carvão Vegetal.** (Tese de Mestrado) Viçosa-MG. UFV. 86 p. 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 6922.** Carvão vegetal - ensaios físicos - determinação da massa específica – (densidade a granel). Rio de Janeiro: ABNT, 1981.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 6922.** Carvão vegetal - ensaios físicos determinação da massa específica (densidade à granel). Rio de Janeiro. 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL – ABTCP. **Normas técnicas.** São Paulo. 1968.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL – ABTCP. **Normas técnicas.** São Paulo: ABTCP, 1977.

ANTUNES, R. C., Briquetagem de carvão vegetal In: PENEDO, W. R. **Produção e utilização de carvão vegetal.** Belo Horizonte: CETEC, 1982. v. 1, p. 197-206.

BARCELLOS, D. C., **Caracterização do carvão vegetal através do uso de espectroscopia no infravermelho próximo.** 2007. (Dissertação de mestrado) Viçosa- MG. UFV. 2007.

BARROSO, R. A.; VALE, A. T., XAVIER, L. F. Consumo de biomassa energética e produção de resíduos de madeira no Distrito Federal. **Revista Científica Eletrônica de Engenharia Florestal.** Garça, ano 8, n. 13, 2009. Disponível em: <<http://www.revista.inf.br/florestal13/pages/artigos/AnoVIII-N13-art02.pdf>>. Acesso em: 25 abr. 2010.

BESLEY, L. Importance, variation and measurement of wood density and moisture. Pulp and Paper Research Institute of Canada. n. 489. 30 p. Nov. 1966.

BEZZON, G. **Síntese de novos combustíveis sólidos a partir de resíduos agroflorestais e possíveis contribuições no cenário energético brasileiro.** (Tese de Mestrado). Faculdade de Engenharia Mecânica da UNICAMP. Campinas-SP. 1994.

BRITO, E. O. Estimativa da produção de resíduos na indústria brasileira de serraria e laminação de madeira. **Revista da Madeira**, Curitiba, ano 4, n. 26, p. 34-39. 1995.

BRITO, J. O. BARRICHELO, L. E. G. Correlações entre características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão vegetal: I – densidade e teor de lignina da madeira de Eucalipto. **IPEF**. n. 14. p. 09-20. 1977.

BRITO, J. O. Estudo sobre a produção de carvão e briquetes de carvão de casca de pinus. Piracicaba, SP. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". 58 p. 1986.

BRITO, J. O. Madeira para a floresta: a verdadeira realidade do uso de recursos florestais. *Silvicultura*, v. 11. n. 41. p. 188-193. 1986.

BROWNING, B. L. *Methods of wood chemistry*. New York. A Division of John Wiley & Sons. v. 2. 1967.

CARMO, A. P. T. Avaliação de algumas propriedades da madeira de seis espécies de eucalipto. (Dissertação do Mestrado). Viçosa, MG. UFV. 74 p. 1996.

CARMO, J. S. **Propriedades Físicas e Químicas do Carvão Vegetal Destinado à Siderurgia e Metalurgia**. (Monografia) Viçosa, MG. 1988.

COTTA, A. M. G. **Qualidade do Carvão Vegetal para Siderurgia**. (Monografia) Viçosa, MG. 1996.

COUTO, G. M. **Utilização da serragem de *Eucalyptus sp.* na preparação de carvões ativados**. (Dissertação do Mestrado) Lavras, MG. 106 p. 2009.

CUNHA, A. F. da, MOL, M. P. G., MARTINS, M. E., ASSIS, P. S. Caracterização, beneficiamento e reciclagem de carepas geradas em processos siderúrgicos. **REM - Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, n.59, p. 111-116, 2006.

CRUZ, F. M. **Propriedades de briquetes fabricados com finos de carvão de *Eucalyptus sp.* e *Schizolobium amazonicum* (Paricá)**. (Monografia). Viçosa, MG. UFV. 50 p. 2008.

FARINHAQUE, R. **Influência da umidade no poder calorífico da madeira de bracatinga (*Mimosa scrabella*, Benth) e aspectos gerais de combustão**. Curitiba: FUPEF, 1981. 14 p. (Série Técnica).

FENGEL, D.; WEGENER, G. **Wood: Chemistry, ultrastructure, reactions**. Berlin, New York, Walter de Gruyter. 1984.

FERREIRA, T. S. Influência do teor de umidade no poder calorífico em diferentes idades e componentes de árvores de *Pinus taeda*. In: CONGRESSO BRASILEIRO SOBRE FLORESTAS ENERGÉTICAS, 1. 2007, Belo Horizonte. **Anais eletrônicos...** MG, 2007. Disponível em: <<http://www.solumad.com.br/artigos>>. Acesso em: 16 set. 2012.

FOELKEL, C.E.B. Processo kraft. In: **Química dos processos de produção de celulose**. Belo Oriente: CENIBRA/UFV. 73 p. 1977.

FONTES, P. J. P. **Auto-suficiência energética em serrarias de Pinus e aproveitamento dos resíduos, 1994.** (Dissertação de mestrado). Curitiba, PR. UFPR. 14 p. 1994.

FONTES, P.J.P. de; QUIRINO, W.F.; PASTORE JUNIOR, F.; FILGUEIRAS, S.M.S. **Aglutinante para briquetagem de carvão vegetal.** Brasília: DPQ/IBDF, 1984.

FREDDO, A. **Elementos minerais em madeira de eucaliptos e acácia negra e sua influência na indústria de celulose kraft branqueada.** (Dissertação de Mestrado) Santa Maria: UFSM. 69 p. 1997.

GALVÃO, A. P. M.; JANKOWSKY, I. P. **Secagem racional da madeira.** São Paulo: Nobel. 111 p. 1988.

GENTIL, L. V. B. **Tecnologia e economia do briquete de madeira.** (Tese de Doutorado) Brasília, DF. 195 p. 2008.

GOLDSCHIMILD, O. Ultraviolet spectra. In: SARKANEN, K. V.; LUSWIG, C. H. Eds **Lignins.** New York: Wiley Interscience, 1971, p. 241-246

GOMIDE, J. L. DEMUNER, B. J. Determinação do teor de lignina em material lenhoso: Método Klason modificado. **O papel**, São Paulo, v.47, n.8, p. 36-38, 1986.

GROVE, P. D.; MISHRA, S. K., **Biomass briquetting: technology and practises.** FAO, 1966. Disponível em: <<http://www.rwedp.org>> Acesso em: 09 abril 2012.

HILLIG, E. et al. Geração de resíduos de madeira e derivados da indústria moveleira em função das variáveis de produção. **Produção**, São Paulo, v. 19, n. 2, 2009.

INSTITUTO BRASILEIRO DE QUALIDADE E PRODUTIVIDADE DO PARANÁ – IBQP. Curitiba. 2002. 345 p. **Relatório Final.**

KALIYAN, N.; MOREY, R. V. Factors affecting strength and durability of densified biomass products. **Biomass and Bioenergy.** Oxford, GB. v. 33, n. 3, p. 337 – 359, 2009.

KOLLMANN, F. F. P.; CÔTE JÚNIOR, W. A. **Principles of wood science and technology:** I. solid wood. New York. Springer-Verlag. 592 p. 1968.

KLOCK, U.; MUNIZ, G. I. B.; ERNANDEZ, J. A.; ANDRADE, A. S. **Química da madeira.** 3. ed. Curitiba: UFPR, 2005. 86 p.

KOMAREK, R. K. Binderless Briquetting of Peat, Lignite, Sub-Bituminous and Bituminous Coals in Roll Press. IBA Proceedings, vol. 22, Biennial Conference, San Antonio, TX. 1991.

KOSAK, P. A, Identificação, Quantificação e classificação dos resíduos sólidos de uma Fábrica de Móveis. **Revista Ciências Agrárias**, v.6, 2008.

LIMA, E. G. de., SILVA, D. A. da. Resíduos gerados em indústrias de móveis de madeira situadas no pólo moveleiro de Araçongas, PR. **Floresta.** v. 35, n. 1, p. 105-116, 2005.

LIMA, C. R. de. **Viabilidade econômica da produção de briquetes a partir da serragem de *Pinus* sp.** III Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, São Paulo, SP. 4 p.1998.

MORI, F. A.; MENDES, L. M.; TRUGILHO, P. F.; CARDOSO, M. G. Utilização de madeiras de *Eucalyptus* e nativas no armazenamento da aguardente de cana de açúcar. In: SEMINÁRIO SUL-MINEIRO DE CACHAÇA DE ALAMBIQUE, 1., 2002, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA, 2002. p. 32-33.

MORO, J. P. **Briquetagem de finos de carvão vegetal.** In: ANAIS DA 2^A JORNADA DE ENGENHARIA DOS PAÍSES DE LÍNGUA PORTUGUESA. Rio de Janeiro, RJ. v.1, p. 1-14, 1987.

MUNALULA, F.; MEINCKEN, M. A. Evaluation of South African fuel wood with regards to calorific value and environmental impact. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v.33, n.3, p. 415-420, 2009.

NAIME, R.; SARTOR, I.; HULAKOWSKI, M.; GARCIA, A. C. Gestão dos resíduos sólidos na indústria madeireira. **Revista da Madeira**, v.13, n. 77, p. 112-118, 2003.

NETTO, J. Pó de serra substitui a lenha. **Diário do Pará**, Belém, 22 dez. 2002. Cidades.

OLIVEIRA, J. T. S.; HELLMEISTER, J. C.; FILHO, M. T. **VARIAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE E DA DENSIDADE BÁSICA NA MADEIRA DE SETE ESPÉCIES DE EUCALIPTO.** 2005

OLIVEIRA, J. T. S. **Caracterização da madeira de Eucalipto para a Construção Civil.** São Paulo. v.1 Tese (Doutorado) - Departamento de Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 1997

OLIVEIRA, J. T. S. **Estudo das propriedades físicas e tecnológicas da madeira da pindaíba (*Xylopia sericeae*St. Hil.).** (Dissertação de Mestrado). Viçosa, MG. UFV. 106 p. 1988.

O PROCESSO DE BRIQUETAGEM. Disponível em: <<http://www.komarek.com.br/process/index.html>>. Acesso em: 05 set. 2012.

PAULA, L. E. R. e; TRUGILHO, P. F.; REZENDE, R. M.; BALIZA, A. E. R. **Avaliação de briquetes de resíduos de madeira.** In: CONGRESSO DE PÓS GRADUAÇÃO DA UFLA. Lavras, MG. 2010.

PEREIRA, J. C. D. **Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil.** Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Pará, 2000.

PEREIRA, F. A.; Carneiro, A. C. O.; Vital, B. R.; Lúcia, R. M. D.; Júnior, W. P.; Bianche J. J. Propriedades físico-químicas de briquetes aglutinados com adesivo de silicato de sódio. **Floresta e Ambiente.** v.16, n.1, p. 23 - 29, 2009.

PIMENTA, A.S. e BARCELLOS, D.C. **Como produzir carvão para churrasco**. Viçosa, MG. 76p. 2000.

PROCESSO DE COMPOSTAGEM. Disponível em: <<http://www.ib.usp.br/coletaseletiva/saudecoletiva/compostagem.htm>>. Acesso em: 06 set 2012.

QUIRINO, W. F. **Briquetagem de resíduos lignocelulósicos**. Disponível em: <<http://www.mundoflorestal.com.br/arquivos/briquetagem.pdf>>. Acesso em: 25 ago. 2012.

QUIRINO, W. F. **Características de briquetes de carvão vegetal a seu comportamento na combustão**. (Dissertação de Mestrado). Piracicaba, SP. 80 p. 1991.

QUIRINO, W. F. **Utilização energética de resíduos vegetais**. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA. Disponível em: <<http://www.mundoflorestal.com.br/arquivos/aproveitamento.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2012.

QUIRINO, W. F.; BRITO, J. O. **Características e índice de combustão de briquetes de carvão vegetal**. Laboratório de Produtos Florestais – LPF/IBAMA, série técnica nº 13, Brasília, DF. 18 p. 1991.

QUIRINO, W. F.; VALE, A. T.; ANDRADE, A. P. A.; ABREU, V. L.; AZEVEDO, A. C. S. Poder calorífico da madeira e de resíduos lignocelulósicos. **Biomassa & Energia**, Viçosa, MG, v. 1, n. 2, p. 173 – 182, 2004.

Bioenergia Energia Limpa e Abundante. **Revista da Madeira**. Curitiba, PR. Lettech Editora e Gráfica Ltda. 2005. Disponível em: <<http://www.remade.com.br>>. Acesso em: 01/10/2011.

ROWE, J. W. Natural products of woody plants 1: chemicals extraneous to the lignocellulosic cell wall. In: NAKANISHI, K., ed. *Natural products chemistry : past and future*. Berlin; New York: **Springer-Verlag**. c. 2, p.13-25. 1989.

ROWELL, R. M. USDA-Forest Product Laboratory. Forest Service. **Wood Handbook**. Specialty Treatments. Wisconsin. c. 19. 1987.

SAMPAIO, J. A; COSTA, L. S. N.; ANDRADE, M. C.; **Ensaio Contínuo de Briquetagem em Bancada e Piloto**. Comunicação Técnica elaborada para o Livro Tratamento de Minérios: Práticas Laboratoriais. Rio de Janeiro, RJ. nov 2007.

SANTANA, W. M. **Efeito da idade e da classe diamétrica nas propriedades da madeira de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla***. (Dissertação de Mestrado) Lavras, MG. UFLA. 95 p. 2009.

SANTIAGO, A. R.; ANDRADE, A. M. Carbonização de resíduos do processamento mecânico da madeira de eucalipto. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 15, n. 1, p. 1-7. 2005.

SILVA, C. A. **Estudo técnico-econômico da compactação de resíduos madeireiros para fins energéticos.** (Dissertação de Mestrado) Campinas, SP. UNESC. 68 p. 2007.

SCHNEIDER, R. C. S. **Extração, caracterização e transformação do óleo de rícino.** (Tese de Doutorado). Porto Alegre, RS. UFRS. 280 p. 2003.

SERVIÇO BRASILEIRO DE RESPOSTAS TÉCNICAS – SBRT. 2007. Disponível em: <<http://sbrt.ibict.br>>. Acesso em: 24 set. 2011.

SKAAR, C. Wood-water relations. New York: **Springer-Verlag**, 1988. 283 p.

SOUZA, I. R. Análise comparativa da relação do benefício e custo da utilização dos resíduos da madeira de pinus. (Monografia). Criciúma, SC. Universidade do Extremo Sul Catarinense. 52 p. 2007.

SOUZA, V. R.; CARPIM, M. A.; BARRICHELO, L.E.G. **Densidade básica entre procedências, classes de diâmetro e posições em árvores de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*.** Instituto de Pesquisas Florestais, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, São Paulo, SP. USP. n. 4192, p. 65-72, ago 1946.

STAMM, A. J. **Wood and cellulose science.** New York, U.S.A: The Ronald Press Company, 1964.

TAPPI TECHNICAL DIVISIONS AND COMMITTEES. **TAPPI Test Methods, Atlanta:** Tappi Press, 1998.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J.T.; MORI, F.A. Correlação canônica das características químicas e físicas de clones de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*. **Cerne**, Lavras, v.9, n.1, p. 66-80, 2003.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood:** structure, properties, utilization. New York, Van Nostrand Reinold, 404 p. 1991.

VALE, A. T.; BRASIL, M. A. M.; CARVALHO, C. M.; VEIGA, R. A. A. Produção de energia do fuste de *Eucalyptus grandis* Hill Ex-Maiden e acácia mangium Willd em diferentes níveis de adubação, **Revista Cerne**, v.6, n.1, p. 83-88, 2000.

VALE, A. T. Produção de energia do fuste de *Eucalyptus grandis* hilllex- maiden e *Acacia mangium* willd em diferente níveis de adubação. **Cerne**, Lavras, v. 6, n. 1, p. 83-88, 2000.

VARELA, M.; LECHÓN, Y.; SAÉZ, R. Environmental and socioeconomic aspects in the strategic analysis of a biomass power plants integration. **Biomass and Bioenergy**. n. 17, p. 405-413. 1999.

WANDER, P. R. **Utilização de resíduos de madeira e lenha como alternativas de energias renováveis para o desenvolvimento sustentável da região nordeste do estado do rio grande do sul.** (Tese de Doutorado), Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Rio Grande do Sul. RS, 33 p. 2001.

WEHR, T. R. **Métodos de determinação da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e suas influências na qualidade de cavacos em cozimento Kraft.** (Tese de Doutorado). Piracicaba, SP. Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". 84 p. 1991.